

**Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta bezpečnostního inženýrství**

**Katedra požární ochrany**

**Mechanické účinky vysokotlakého vodního proudu a  
reakční síly při nasazení vysokotlakého hasicího  
zařízení CCS-COBRA**

**Student:** Jan Ondruch

**Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Ondřej Zavila, Ph.D.

**Studijní obor:** Technika požární ochrany a bezpečnosti průmyslu

**Datum zadání bakalářské práce:** 30. 11. 2009

**Termín odevzdání bakalářské práce:** 30. 4. 2010

## **Zadání bakalářské práce**

Student:

**Jan Ondruch**

Studijní program:

B3908 Požární ochrana a průmyslová bezpečnost

Studijní obor:

3908R006 Technika požární ochrany a bezpečnosti průmyslu

Téma:

**Mechanické účinky vysokotlakého vodního proudu a reakční síly při nasazení vysokotlakého hasícího zařízení CCS-COBRA**

**Mechanical Effects of High-Pressure Waterjet and Reaction Forces during the Use of High-Pressure Extinguisher CCS-COBRA**

Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

Definovat funkční princip, možnosti použití a možnosti zranění člověka při manipulaci s „vysokotlakým hasícím zařízením CCS-COBRA“, a postup první pomoci v takovém případě.

Charakteristika práce:

1. Rešerše na téma „problematika řezání materiálů vodním paprskem“ a stručný souhrn dostupných nejdůležitějších informací o „vysokotlakém hasícím zařízením CCS-COBRA“;
2. Zpracování metodiky výpočtu reakčních sil působících na příslušníka HZS ČR;
3. Zpracování metodiky výpočtu sil působících na místo kontaktu vodního paprsku s pevnou překážkou s ohledem na vzdálenost ústí trysky od kontaktní plochy dopadu vodního paprsku;
4. Uvážení možných důsledků poranění člověka zařízením CCS-COBRA;
5. Zhodnocení dosavadních bezpečnostních metodických pokynů výrobce.

Seznam doporučené odborné literatury:

NOSKIEVIČ, J.: Mechanika tekutin. 1. vyd., SNTL/Alfa, Praha, 1987, 356 s.

Dostupné na: <http://www.ccs-cobra.com/cz/default.asp> . Cit. dne 10.10.2007.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ondřej Zavila, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2009

Datum odevzdání: 30.04.2010

*Bradáčová*

Ing. Isabela Bradáčová, CSc.  
vedoucí katedry



*Dudáček*

prof. Dr. Ing. Aleš Dudáček  
děkan fakulty

***„Mistopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně.“***

V Ostravě dne 30. dubna 2010

.....  
Jan Ondruch

Děkuji Ing. Ondřeji Zavilovi, Ph.D. z VŠB - TU Ostrava za odborné vedení a konzultace při zpracování této práce. Dále děkuji Ing. Josefu Foldynovi, CSc. z Ústavu geoniky AV ČR, v.v.i. za věcné připomínky a rady.

## **Anotace**

ONDRUCH, Jan. *Mechanické účinky vysokotlakého vodního proudu a reakční síly při nasazení vysokotlakého hasicího zařízení CCS-COBRA* : bakalářská práce. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, FBI, 2010, 44 s.

Bakalářská práce se zabývá mechanickými účinky vysokotlakého vodního proudu a reakčními silami hasicího zařízení CCS-Cobra. První kapitola pojednává o zařízení CCS-Cobra jako o technickém prostředku v oblasti požární ochrany. Ve druhé kapitole je poukázáno na možnosti využití tohoto zařízení. Třetí kapitola popisuje reakční síly působící na příslušníka HZS ČR při práci se zařízením CCS-Cobra. Ve čtvrté kapitole je poukázáno na nebezpečí poranění vysokotlakým vodním paprskem. Jsou zde také uvedeny postupy první pomoci při možném poranění a možnosti dalšího ošetření.

## **Klíčová slova**

CCS-Cobra, HZS ČR, reakční síla, vysokotlaký vodní paprsek, zranění

## **Annotation**

ONDRUCH, J. *Mechanical Effects of High-Pressure Waterjet and Reaction Forces during the Use of High-Pressure Extinguisher CCS-COBRA* : Bachelor Thesis. Ostrava : VSB-Technical University of Ostrava, Faculty of Safety Engineering, 2010, 44 p.

This bachelor thesis deals with mechanical effects of high-pressure waterjet and reaction forces during the use of high-pressure extinguisher CCS-Cobra. The first chapter deals with high-pressure extinguisher CCS-Cobra in fire protection. The second chapter refers to possibility of using this device. Third chapter describes the reaction forces working on firefighters of Fire Rescue Service of Czech Republic. The fourth chapter refers to dangers of high-pressure waterjet injury. First aid procedures for dealing with injuries and possibilities for further treatment are also introduced.

## **Key words**

CCS-Cobra, Fire Rescue Service of the Czech Republic, Reaction Force, High-Pressure Waterjet, Injury

## Obsah

Úvod .....	1
Rešerše .....	2
<b>1 Vysokotlaké řezací a hasicí zařízení CCS-Cobra .....</b>	<b>3</b>
1.1 Vznik a vývoj .....	3
1.2 Zařízení CCS-Cobra v zahraničí a v ČR .....	5
1.3 Popis .....	6
<b>2 Možnosti použití zařízení CCS-Cobra .....</b>	<b>12</b>
2.1 Řezání .....	12
2.2 Ochlazování .....	13
2.3 Hašení .....	14
<b>3 Výpočet reakčních sil působících na obsluhu zařízení CCS-Cobra .....</b>	<b>16</b>
3.1 Výpočet sil v proudící kapalině .....	16
3.2 Silové účinky vodního proudu na překážku .....	18
3.3 Silové účinky vodního paprsku na překážku u zařízení CCS-Cobra .....	20
<b>4 Nebezpečí poranění vysokotlakým vodním paprskem .....</b>	<b>25</b>
4.1 Mechanismus poškození tkání .....	27
4.2 Záchranná karta .....	30
4.3 První pomoc při poranění .....	31
<b>Závěr .....</b>	<b>37</b>
<b>Literatura.....</b>	<b>39</b>
<b>Seznam použitého označení.....</b>	<b>41</b>
<b>Seznam zkratk .....</b>	<b>42</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>43</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>44</b>

## Úvod

Využití vysokotlakého vodního paprsku (dále jen „VVP“) je už léta známo a používáno například v těžebním nebo strojírenském průmyslu. V nedávné době se díky švédské firmě Cold Cut Systems AB (dále jen „CCS“) objevilo i u hasičů v podobě vysokotlakého řezacího a hasicího zařízení CCS-Cobra (dále jen „zařízení CCS-Cobra“). V České republice (dále jen „ČR“) se zařízení CCS-Cobra objevilo v roce 2002, kdy bylo darováno Švédským královstvím Hasičskému záchrannému sboru hlavního města Prahy (dále jen „HZS hl. m. Prahy“). K dnešnímu dni se u Hasičského záchranného sboru ČR (dále jen „HZS ČR“) nachází šest těchto zařízení CCS-Cobra. Jako každé zařízení má své výhody a nevýhody. Nesporným kladem je vysoká kultura hašení, tj. maximální hasicí efekt při minimální spotřebě hasiva a vzniku minimálních sekundárních škod v zasaženém prostoru. Umožňuje hasit požáry v uzavřených prostorech, aniž by zasahující hasiči museli do těchto prostor vstoupit. S úspěchem se využívá systému chladného řezání, například při nebezpečí vzniku jevu backdraft. Z původního konceptu zařízení pro řezání ventilačních otvorů tak vznikly systémy pro řezání, hašení i přečerpávání nebezpečných látek.

Na druhou stranu jeho využití u jednotek požární ochrany (dále jen „jednotek PO“) není dosud veliké. K jeho většímu rozšíření a využívání je potřeba změnit taktiku vedení zásahu s tímto technickým prostředkem, a využít tak jeho jedinečných předností. Při nedodržení bezpečnostních zásad manipulace hrozí nebezpečí poranění vysokotlakým vodním paprskem. Není však jasné, jak v případě poranění VVP přesně postupovat. U zařízení CCS-Cobra je rychlost částice opouštějící trysku o velikosti pouhých 2,2 mm přibližně  $220 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ( $792 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Pro zajímavost, rychlost střely vystřelené z pistole CZ 75 D Compact ráže 9 mm Luger používané v současnosti například u Policie ČR je rovna  $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Na první pohled je zřejmé, že dopadající VVP bude mít na lidskou tkáň destruktivní účinek - řezná nebo bodná poranění, komprese orgánů až amputace částí těla. Poranění VVP je velmi specifické a s narůstající časovou prodlevou i životu nebezpečné. Vždy je žádoucí neodkladná lékařská pomoc. Navzdory tomu, dosud neexistují v žádných metodických materiálech HZS ČR žádné informace o postupech první pomoci při poranění VVP, a dokonce ani profesionální léčby. Postupy a doporučení při poranění vysokotlakým vodním paprskem sesbírání především ze zahraničních informačních zdrojů jsou hlavním cílem a přínosem této práce.



## Rešerše

Zdroje informací byly převážně čerpány z internetu a několika tištěných monografií. Publikace byly vyhledávány především na portálu Ústřední knihovny VŠB - TU Ostrava a knihovny Fakulty bezpečnostního inženýrství VŠB - TU Ostrava.

Velmi hodnotným informačním zdrojem vztahujícím se k popisu a možnostem použití zařízení CCS-Cobra jsou Konspekty odborné přípravy jednotek PO č. 1-3-02 vydané Generálním ředitelstvím hasičského záchranného sboru České republiky (dále jen „GŘ HZS ČR“) [11] a také diplomová práce zabývající se zařízením CCS-Cobra a jeho použitím při zásahu [7]. K popisu fyzikálních principů VVP, na nichž zařízení CCS-Cobra funguje, posloužily především publikace z oblasti mechaniky tekutin [5],[10], a také cizojazyčná publikace [8] shrnující dosavadní poznatky se zařízeními pracujícími s VVP. K publikacím, z nichž byly čerpány informace ohledně nebezpečí poranění VVP, patřily [3],[4],[8],[9]. V publikaci [3] jsou popsány pokusy s vysokoenergetickým kapalinovým paprskem. Publikace [8],[9] patřily k nejcennějším zdrojům k sepsání této práce. Jsou v nich obsaženy především informace o zařízeních pracujících s VVP, o nebezpečí poranění VVP a doporučené postupy v případě poranění VVP. Obsahují také podrobně popsané případy poranění VVP. První pomoc v případě poranění byla čerpána z publikací [1],[2],[6], které obsahovaly všeobecné informace o první pomoci, které musely být aplikovány na poranění VVP.

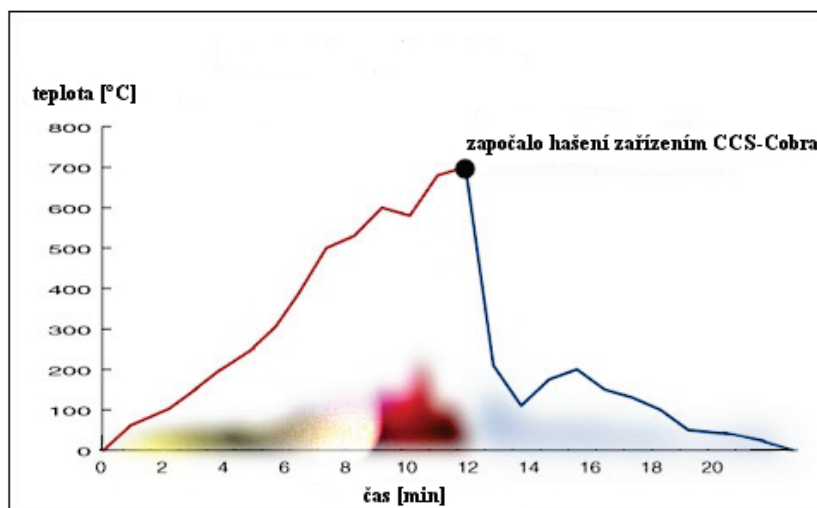
K nejvíce hodnotným internetovým zdrojům informací patřily zdroje [12],[13],[14],[16],[17]. Popis a informace o zařízení CCS-Cobra byly čerpány ze stránek [12],[13],[16]. Stránky věnující se problematice VVP jsou především v cizím (anglickém) jazyce. Popis zranění, možnosti i postupy léčby byly čerpány ze stránek [14],[15],[17]. K pochopení významu lékařských pojmů muselo být použito stránek Velkého lékařského slovníku [18].

# 1 Vysokotlaké řezací a hasicí zařízení CCS-Cobra

Zařízení CCS-Cobra je speciální vysokotlaké zařízení určené k:

- řezání konstrukcí a otvorů ve stavebních materiálech;
- hašení požárů;
- ochlazování a efektivní snížení teploty v prostoru požáru;
- práci ve výbušném prostředí, např. při přečerpávání nebezpečných hořlavých látek.

Tímto zařízením můžeme v překážkách, jako jsou stěny, dveře, okna, stropy a střechy vyřezat otvory různých velikostí. Po proniknutí vodního paprsku tímto velmi malým vyřezaným otvorem, dochází v prostoru za překážkou ke vzniku oblaku vodní mlhy a k ochlazování a hašení pásma přípravy a hoření (**Obr. 1**). Tímto způsobem lze uhasit požár velmi malým množstvím vody ve srovnání s konvenčním způsobem hašení proudy C nebo B, a hlavně bez přímého vstupu hasičů do požárem zasaženého prostoru, nebo alespoň zasažený prostor ochladit. Vytvoříme tím bezpečnější prostředí pro zasahující hasiče a předejdeme vzniku některých jevů hrozících při požárech v uzavřeném prostoru, například jevu backdraft [11].



**Obr. 1** Průběh hašení požáru v kontejneru zařízením CCS-Cobra [12]

## 1.1 Vznik a vývoj

Již v roce 1988 bývalý mořeplavec Lars G. Larsson založil společnost Cold Cut Systems AB, která využívala metody řezání a broušení vodou ve výbušných a nebezpečných prostorech. Metoda se nazývala Dia-jet a jejím původním autorem byla Britská vodní

výzkumná asociace. V roce 1988 Larsson podepsal dohodu na využití této metody v jeho společnosti. Od tohoto roku používá Cold Cut Systems AB tuto metodu pro průmyslové řezání, a to zejména v chemickém průmyslu pro řezání v toxických, hořlavých a nebezpečných oblastech.

Po explozi způsobené při opravě na plavidle v Gothenburgu (Švédsko), kde zemřelo 7 lidí, několik bylo zraněno a došlo k velkým ztrátám na materiálu, vyzvala Cold Cut Systems AB vybraný počet mužů, aby otestovali myšlenku použití řezání vodou k záchraně lidských životů. V počátku celý koncept směřoval k prořezávání ventilačních děr do střech při požárech.

Během testů s řezací tryskou pochopil Larsson možnosti, jak využít systému jako hasicího zařízení. Hasičským záchranným oddílem v Lulea (Švédsko) byla vypracována zpráva se zaměřením na hašení požárů a na jaře roku 1996 zaslána Státnímu úřadu požární ochrany (angl. „Swedish Rescue Service Agency“) [16]. Při prvním setkání s tvůrci si zástupci Státního úřadu požární ochrany, Bo Andersson a Lennart Danielsson, uvědomili, že zařízení tohoto typu, by mohlo přinést vznik nové metody v hašení požáru, pokud by bylo uzpůsobeno hasičským jednotkám. Hlavní záměr projektu se skládal ze dvou částí:

- metody rychlého a bezpečného přístupu do uzavřených hořících prostorů;
- uhašení požáru díky vysokému tlaku vody, a to z vnějšku hořící místnosti.

Bo Andersson byl jmenován vedoucím tohoto projektu. Bylo podniknuto velké množství experimentů s několika typy střech. Po experimentech došlo na další projekt, s cílem navrhnout prototyp zařízení pro požární plošiny.

Ve spolupráci s Cold Cut Systems AB byly na přelomu let 1997 a 1998 vyrobeny dva prototypy a přizpůsobeny k užívání na brontské vysokozdvížné plošině hasičské jednotky v Helsinborgu (Švédsko) a Lulea. V průběhu celého projektu se ukázala nutnost ověřit vlastnosti přístroje teoreticky i prakticky. Proto bylo profesoru Goranu Holmstedtovi z Technické univerzity v Lund (angl. „Lund University of Technology“) zadáno, aby vypočítal hasicí vlastnosti přístroje. Po teoretické části došlo k praktickým experimentům. Plnohodnotný experiment se uskutečnil se zařízením pro ruční ovládání v Kevlinge a v Oslu (Švédsko). Profesor Holmstedt vyvodil za své práce, že zařízení má vynikající schopnost

pronikat různými materiály a má vysokou schopnost hasit požáry. Bylo také zdůrazněno, že zařízení může být použito pro řezání v situacích, kdy hrozí nebezpečí výbuchu.

S výsledky se celý projekt rozrůstal a z původního projektu zaměřeného na řezání dřeva zůstalo pramálo. Vznikla dokumentace nového způsobu boje s ohněm. Zařízení vyvinuto pro vysokozdvizné plošiny už nebylo hlavním cílem, vše se teď upínalo k vyvinutí malé ruční proudnice. CCS speciálně vyrobila tyto proudnice ve spolupráci se dvěma studenty z oboru inovačního a designového inženýrství na univerzitě v Karlstad (Německo). Tyto mobilní ruční proudnice byly efektivnější jak z hlediska ekonomického, tak praktického. Dokončení vědeckého výzkumu, výroba zařízení a dalších doplňků zakončily etapu vývoje a umožnily novému zařízení dostat se na trh [7],[12].

## **1.2 Zařízení CCS-Cobra v zahraničí a v ČR**

V současnosti je ve světě kolem 400 instalovaných zařízení CCS-Cobra, a to jak v malých požárních automobilech, tak ve velkých cisternových automobilových stříkačkách. Zařízení CCS-Cobra je nejvíce využíváno ve Švédsku, kde jej používá až 80 % záchranných sborů. Je jím vybaveno celkem okolo 50 záchranných sborů, a některé tyto sbory mají k dispozici 6 až 7 těchto zařízení. Mezi další uživatele se řadí také Norsko, Spojené státy americké, Velká Británie, Nizozemsko, Japonsko, a také i ČR. Tyto země rovněž sdílí své zkušenosti od roku 2002 v databázi zásahů. Z české strany do ní přispívá HZS hl. m. Praha [13].

Zařízení CCS-Cobra se do ČR dostalo při povodních, které ČR postihly v roce 2002. Bylo darem od Švédského království a bylo instalované v zásahovém požárním automobilu Toyota Pick-Up 4 WD. Součástí této pomoci bylo i zacvičení osádek a pomoc při jeho zařazení na výjezd jednotky HZS hl. m. Prahy, kam bylo toto zařízení z pokynu Ministerstva vnitra Generálního ředitelství HZS ČR předáno. K dnešnímu dni je zařízení CCS-Cobra umístěno na hasičských stanicích HZS Ostrava, Pardubice, Liberec, Praha, Plzeň (**Tab. 1**) a na Odborném učilišti požární ochrany Brno (dále jen „OU PO Brno“). U HZS hl. m. Prahy jsou instalovány dvě zařízení CCS-Cobra, kdy k původnímu darovanému zařízení bylo dokoupeno další. Zařízení CCS-Cobra umístěné v OU PO Brno, slouží k výcvikovým účelům HZS ČR [11],[12].

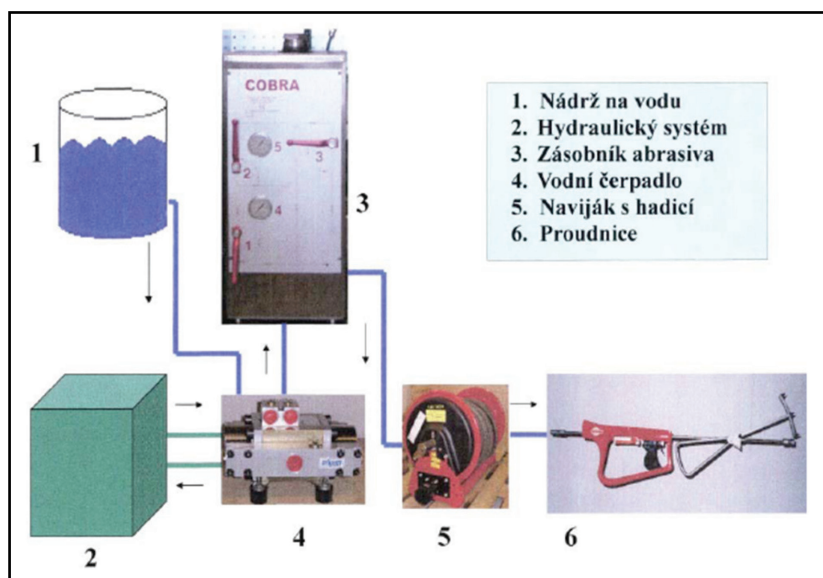
**Tab. 1** Dislokace zařízení CCS-Cobra na stanicích HZS ČR

Kraj	Hasičská stanice	Druh požární nástavby
Moravskoslezský kraj	Slezská Ostrava	RZA (rychlý zásahový automobil)
Hlavní město Praha	HZS hl. m. Prahy č. 6	CAS (cisternová automobilová stříkačka)
Hlavní město Praha	HZS hl. m. Prahy č. 1	TA (technický automobil)
Plzeňský kraj	Plzeň - Košutka	KHA (kombinovaný hasící automobil)
Pardubický kraj	Pardubice	PLHA (plynový hasící automobil)

### 1.3 Popis

Zařízení CCS-Cobra řezé materiály VVP, do kterého je v době řezání přidáváno abrazivo při tlaku až 30 MPa. Po proniknutí vody vyříznutým otvorem se úzký paprsek vody mění v oblak vodní mlhy a páry, který velmi účinně příslušná pásma požáru ochlazuje a hasí. Řezání se obejde bez zvýšení teploty. Tuto metodu řezání proto lze používat i v prostředí nebezpečných a hořlavých látek, které dovolují styk s vodou.

Zařízení CCS-Cobra se skládá z nádrže na vodu, hydraulického a elektrického systému, zásobníku abrasiva, vysokotlakého vodního čerpadla, navijáku s hadicí a speciální proudnice (Obr. 2) [11].



**Obr. 2** Schéma zařízení CCS-Cobra [11]

## Nádrž na vodu

Zařízení CCS-Cobra využívá vestavěnou nádrž v nástavbě požárního automobilu. U cisternové automobilové stříkačky se voda bere přímo z nádrže automobilu. Při plném výkonu zařízení vystačí 250 l vody na cca 5 min nepřetržitého zásahu ruční proudnicí [11].

## Hydraulický systém

Hydraulickým systémem je poháněno vysokotlaké vodní čerpadlo. Systém se skládá z olejového čerpadla o max. výkonu 35 kW. Samotné olejové čerpadlo je umístěno na motoru vozidla. Celý systém se dále skládá z nádrže hydraulického oleje a chladiče hydraulického oleje. V hydraulickém systému je tlak 18 MPa. K tomuto systému je možno připojit další přídatná zařízení [11].

## Elektrický systém

Elektrický systém je společný s nástavbou požárního automobilu. Jediným vlastním zdrojem u zařízení CCS-Cobra je akumulátor (**Obr. 4**) v ruční proudnici (**Obr. 3**), který napájí radiostanici umístěnou v této proudnici [11].



**Obr. 3** Umístění akumulátoru v ruční proudnici



**Obr. 4** Detail akumulátoru

## Nádrž na abrazivo a ovládací panel

U zařízení CCS-Cobra může být použito dvou rozdílných nádrží na abrazivo. Rozdíl je ve velikosti nádrže. Standardní má obsah 10 l abraziva, ale může být také použita nádrž o obsahu 20 l. Spotřeba abraziva při plném výkonu je cca 2 l/min (4 kg/min). Jeho celkový podíl v médiu je 4 %. Na zásobníku abraziva se nachází ovládací panel s ventily a kontrolním manometrem (**Obr. 5 a Obr. 6**) [11].



**Obr. 5** Umístění ovládacího panelu v automobilu



**Obr. 6** Ovládací panel [12]

## **Abrazivo**

Velikost zrn abraziva je 0,25 mm až 1 mm (**Obr. 7**). Tvrdost abraziva odpovídá stupni 7 podle Mohsovy stupnice tvrdosti. Nádrž o objemu 10 l se plní 20 kg abraziva a 20 l nádrž se plní 40 kg abraziva. Používané abrazivo je ekologicky nezávadné a neabsorbuje vodu. Abrazivo je využíváno pouze při procesu řezání (**Obr. 8**), při ochlazování nebo hašení nemá na tyto činnosti vliv. Je žádoucí, aby přísun abraziva byl po prořezání otvoru zastaven, aby se zabránilo zbytečným ekonomickým ztrátám v důsledku naprosto zbytečného použití [11].



**Obr. 7** Abrazivo



**Obr. 8** Zůstatek abraziva po řezání

<b>Chemické složení abraziva [11]:</b>		
FeO	(oxid železnatý)	40-50 %
SiO <sub>2</sub>	(oxid křemičitý)	30-40 %
MgO	(oxid hořečnatý)	2-4 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(oxid hlinitý)	1-3 %

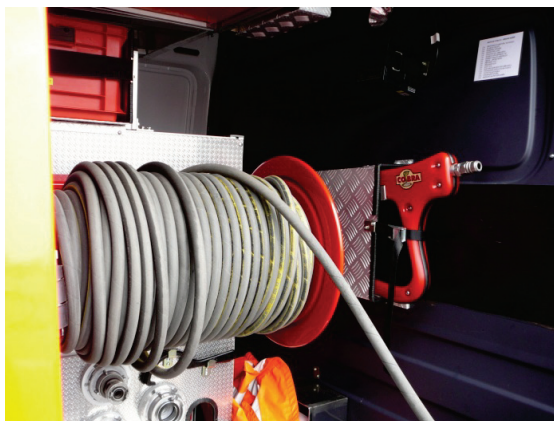


## Vysokotlaké vodní čerpadlo

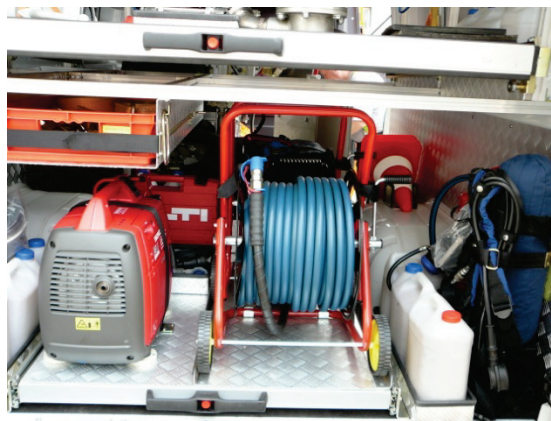
Čerpadlo je umístěno za nádrží s abrazivem a jeho pohon zabezpečuje hydraulický systém. Výrobce nastavený provozní tlak je 27 MPa, ovšem normální pracovní tlak je v rozmezí 22,5 MPa až 30 MPa. Tlak vody je dán otáčkami motoru, nastavením čerpadla a také opotřebením celého systému. Při tlaku 22,5 MPa až 30 MPa je čerpadlem dodáváno 25 až 50 l vody za minutu [11].

## Naviják s hadicí

Zařízení využívá 60 m tvarově stálé vysokotlaké hadice uložené na průtočném pohotovostním navijáku (Obr. 9). Je také možnost využít dalších 40 m na pojízdném navijáku (Obr. 10). Pohotovostní naviják je upevněn na vozidle. Odvíjení hadice se provádí tahem, zpětné navíjení je pomocí elektromotoru. Celková délka hadic u zařízení CCS-Cobra může být až 300 m. Jednotlivé části se spojují rychlospojkami, které jsou spolu s hadicemi konstruovány na dopravu vody s abrazivem při tlaku 30 MPa. Hadice jsou složeny ze dvou ocelových vrstev a jejich vnější vrstva je potažena plastem pro snížení tření. Vnitřní průměr hadice je 1/2" (1,27 cm). Používáním abraziva dochází k opotřebování vnitřní části hadice. Proto se doporučuje, aby byly hadice při použití zařízení CCS-Cobra položeny přímě, bez záhybů a nejlépe v celé své délce vymotané z navijáku [11].



Obr. 9 Průtočný pohotovostní naviják



Obr. 10 Pojízdný naviják

## Ruční proudnice

Ruční proudnice se skládá z tlakové připojovací armatury, krytu, rádiového vysílače s baterií a bezpečnostní pojistkou, ovládacího zařízení se spouští vysokotlakého čerpadla a spouští příměšování abraziva, koncovky s tryskou a aretační opěrky (Obr. 11). Hmotnost



samotné proudnice je cca 6 až 8 kg. Obsluha může pomocí radiového vysílače umístěného na proudnici dálkově ovládat čerpadlo stisknutím „velké spouště“ a příměšovač abraziva stiskem „malé spouště“. Při rušení signálu je ovládání čerpadla a příměšovače prováděno strojníkem. Součástí proudnice je aretační opěrka, která zajišťuje správnou vzdálenost od trysky k řezanému materiálu. Tato vzdálenost je stanovena na 15 mm. Při nezajištěné aretační opěrce je možno provést řez jedním pohybem o délce 42 cm nebo vyřezat otvor o průměru 18 cm. Při zajištěné opěrce je možno vyřezat otvor o průměru 6 cm. Proudnice pracuje s paprskem směsí vody a abraziva pod tlakem 30 MPa. Abrazivo je použito pouze při řezání. Proudnicí zařízení CCS-Cobra lze zařadit k mlhovým proudnicím (Obr. 12), kdy požadovaného hasebního efektu docílíme vysokým tlakem a speciálně upravenou tryskou. Tryska použitá u proudnice je zhotovena z keramického materiálu o tvrdosti 7,5 podle Mohsovy stupnice tvrdosti. Použitý materiál na trysku musí mít vyšší tvrdost než je tvrdost abraziva. Tryska má průměr 2,2 mm a používáním se průměr zvětšuje, tím dochází ke zhoršení účinnosti VVP při řezání. Při zvětšení průměru trysky na 2,4 mm nelze dosáhnout vyššího tlaku než 25 MPa, proto se musí tryska vyměnit za novou. V okamžiku, kdy je zařízení funkční a probíhá proces řezání konstrukce, tlak proti rameni dosahuje v ekvivalentu hmotnosti přibližně 15 kg a bezpečnostní vzdálenost k nechráněným osobám je určena na 10 m [11].



**Obr. 11** Ruční proudnice zařízení CCS-Cobra



**Obr. 12** Tvorba vodní mlhy

## Pracovní postup

Hasič u proudnice začne nejdříve tím, že nasměruje proudnici do bezpečného směru. Na proudnici zkontroluje, zda zelené diody signalizují správnou funkci baterií. Proudnicí pevně uchopí jednou rukou za černou rukojeť se spouští vysokotlakého čerpadla a se spouští pro

přiměšování abrasiva. Druhou rukou uchopí manévrovací rukojeť na aretační opěrice a proudnici nasměrujeme do zvoleného bodu. Přiloží proudnici k rameni a hrotem aretační opěrky ji přitlačí do místa řezu. Spustí vysokotlaké vodní čerpadlo stisknutím větší spouště na proudnici a nechá vodu stříkat asi 5 s. Potom stisknutím menší spouště na proudnici aktivuje přiměšování abrasiva. Po proniknutí překážkou pomalým pohybem trysky pokračuje podle potřeby v řezání, nebo zastaví přiměšování abrasiva uvolněním malé spouště a vodní mlhou za překážkou hasí. Hašení ukončí uvolněním velké spouště. Proudnici lze také kdykoli okamžitě vypnout stisknutím bezpečnostní pojistky - nouzového stop tlačítka.

## 2 Možnosti použití zařízení CCS-Cobra

Vysokotlaké řezací a hasicí zařízení CCS-Cobra je jedním z vysoce efektivních technických zařízení, používaných u jednotek požární ochrany při řezání, ochlazování a hašení. Pokud je nutné pro přerušení procesu hoření použít vodu k ochlazování pásma hoření nebo vodní mlhu a páru k ředění reagujících látek, a navíc je místo hoření skryté nebo nepřístupné (například vysoké teploty v prostoru zásahu), je použití zařízení CCS-Cobra efektivnější než jiná doposud používaná zařízení [11].

Z databáze zásahů, do které přispívají jednotlivé státy vlastníci zařízení CCS-Cobra, vyplývá, že největší uplatnění zařízení je při požárech obytných domů a obchodů, a to zejména při hašení střech, podkrovních prostorů, sklepů a také při hašení skrytých ložisek u sendvičových stavebních materiálů. Ve Švédsku je zařízení CCS-Cobra nejčastěji umístěno na menších pobočných stanicích za účelem prvotního rychlého zásahu v počáteční fázi požáru trvajícího až do příjezdu dalších jednotek. V ČR se zařízení CCS-Cobra nachází na velkých hasičských stanicích a je nasazována k hašení velkých obytných a průmyslových budov [16].

### 2.1 Řezání

Zařízení CCS-Cobra lze použít při řezání všech stavebních materiálů (**Obr. 13**), při odstraňování stavebních konstrukcí (například bezpečnostních zámků u dveří) a vytváření otvorů v technologických zařízeních a objektech. Otvory lze řezat ve stěnách, dveřích, oknech, střepech i střechách zejména za účelem hašení, ochlazování a odvětrávání objektů, vytváření zásahových i únikových cest. Doba řezání a tím i spotřeba vody a abraziva je úměrná tvrdosti a síle vrstvy řezaného materiálu. Je proto nezbytné při volbě místa, pokud je to možné, volit nejslabší místa stavby (konstrukce), např. dveře, okenní rámy, mezery v omítce nebo mezi prefabrikovanými bloky [11].

Je snazší řezat homogenní materiál než stěnu složenou z různých materiálů (**Obr. 14**). Jednotlivé druhy materiálu lze podle obtížnosti řezu uvést v tomto pořadí (od nejméně odolných po nejodolnější) [11]:

- pórobeton, stavební izolace;
- laminát, plexisklo, sádkokarton;
- guma;

- dřevotříska, čelní sklo automobilů;
- dřevo;
- cihla, střešní krytina;
- zmrzlá zemina (70 cm a více);
- silná vrstva lepeného skla, pancéřované sklo;
- kámen a beton obsahující kámen, písek a ocelové pruty (řez 20 cm trvá cca 4-8 min.);
- ocel v různé kvalitě (řez 2 cm trvá cca 1-2 min).



**Obr. 13** Řezání otvoru v homogenním materiálu

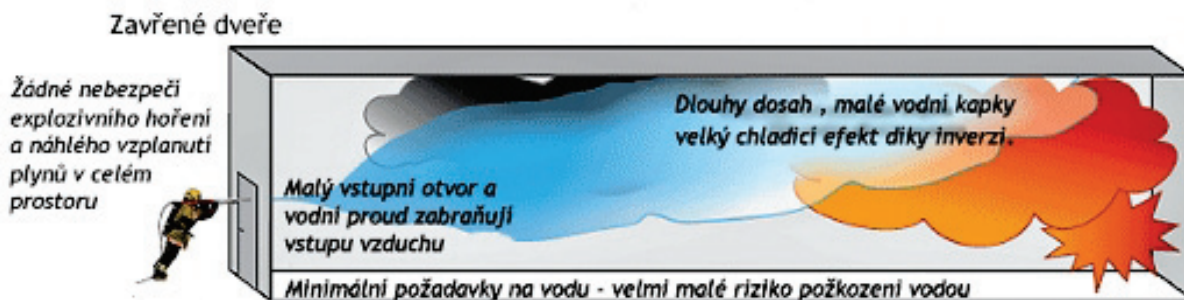


**Obr. 14** Vyřezané otvory

## 2.2 Ochlazování

Ochlazováním je myšleno zejména snížení intenzity hoření a tím i teploty v prostoru na hodnoty, které umožní vstup hasičů do daného prostoru a dokončení hasebního zásahu. Příkladem může být požár ve výrobní hale nebo v těžce přístupném půdním prostoru.

Přesné místo nasazení zařízení CCS-Cobra a směr ochlazování jsou voleny tak, aby vodní mlhový oblak zasáhl co největší plochu hoření, a pokud to není možné, pak co největší objem zplodin hoření v horní části ochlazovaného prostoru (**Obr. 15**). Doba trvání ochlazování lze orientačně odhadnout z výsledků zkoušek a záleží především na velikosti daného prostoru. Ze zkoušek lze odhadnout, že vodní mlhový oblak zasáhne prostor do vzdálenosti cca 20 m a šíření vodní mlhy a páry do prostoru dále ovlivní proudění vzduchu a zplodin hoření. Ruční proudnici zařízení CCS-Cobra lze také využít obdobně jako jiné vysokotlaké proudnice a provádět ochlazování například při požárech plynových potrubí, při vytěšňování nevyhořelých plynů, apod. [11].



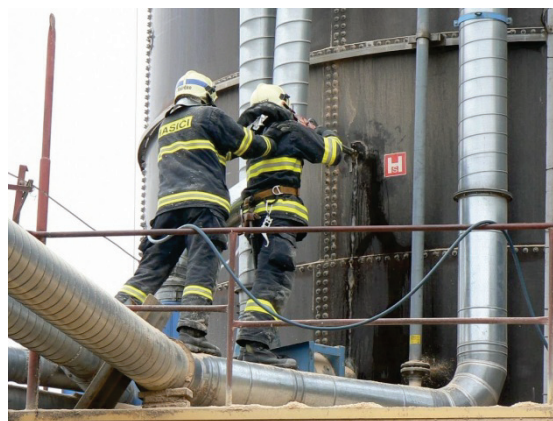
**Obr. 15** Použití zařízení CCS-Cobra při požáru [12]

## 2.3 Hašení

Zařízením CCS-Cobra lze hasit všude tam, kde lze k hašení použít vodu a přerušení hoření dosáhnout metodou ochlazování pásma hoření. Jiný přístup spočívá např. ve zředění reagujících látek, které vstupují do pásma hoření, vodní mlhou (**Obr. 16**) nebo parou. Hašení požárů zařízením CCS-Cobra je zpravidla prováděno skrz stěnu stavební konstrukci bez nutnosti vstupu hasiče do uzavřeného prostoru (**Obr. 17**), kde probíhá proces hoření. Hašení je prováděno mlhovým proudem namířeným do oblasti výskytu horkých plynů, hovoříme o tzv. nepřímém útoku, tj. o požárním útoku bez vstupu hasiče do uzavřeného prostoru. Hašení tímto způsobem má za následek vznik velkého množství vodní páry, čímž dochází k intenzivnímu ochlazování. Vývin velkého množství vodní páry ovšem přináší možné riziko opaření, proto není vhodné použít tento způsob hašení, pokud se uvnitř prostoru nachází osoby.



**Obr. 16** Tvorba vodní mlhy za překážkou



**Obr. 17** Zařízení CCS-Cobra při požáru sila [16]

V případě hašení požáru ve velkém uzavřen prostoru může být míst nasazení zařízení CCS-Cobra při ochlazování a hašení i více než jen jedno. Při tomto způsobu je hašení prováděno v krátkých intervalech střídavě z několika míst. Hasiči vstupující do uzavřeného prostoru k přímému uhašení ohniska nebo zbytků požáru musí počítat s rizikem opaření. Riziko opaření hasičů lze snížit prodloužením doby hašení. Velké množství páry má také vliv na rozložení teplotního pole v uzavřeném prostoru a zvětšení pásma zakouření. Pokud je nutné tomuto jevu předejít, je vhodné mlhový proud při hašení přerušovat a do postupu hašení zařadit ventilaci uzavřeného prostoru [11].

### 3 Výpočet reakčních sil působících na obsluhu zařízení CCS-Cobra

Hodnotu reakčních sil působících na obsluhu zařízení CCS-Cobra je nutné znát s ohledem na bezpečnost. V důsledku příliš velké hodnoty těchto sil, může dojít k nezvládnutí zařízení obsluhou a vzniku poranění od VVP. Organizace zabývající se využitím VVP v průmyslu se ve svých publikacích [8] zabývají reakčními silami působícími na obsluhu těchto zařízení, kde uvádějí zjednodušené vzorce pro výpočet těchto sil. Rozhodující je především, aby obsluha byla schopna udržet zařízení a snadno s ním dokázala manipulovat. Výpočet reakčních sil působících na tělo uživatele zařízení CCS-Cobra se i při použití VVP řídí základními vztahy z oboru mechaniky tekutin. Kompletní odvození tohoto základního vzorce je v následujících podkapitolách.

#### 3.1 Výpočet sil v proudící kapalině

Pro výpočet sil v proudící kapalině je vhodné použít větu o změně hybnosti, popřípadě impulzovou větu, což je vyjádření zákona zachování hybnosti. Hybnostní věta v hydrodynamice slouží k výpočtu sil, které by bylo nutno určit integrací z Eulerových rovnic hydrodynamiky. V praxi se používá všude tam, kde se sleduje jen výsledný silový účinek tekutiny na stěnu pevného tělesa. Odvození impulzové věty je následující.

Změna hybnosti  $\Delta H = \int_{v_1}^{v_2} m dv$  je rovna impulsu síly  $I = \int_{t_1}^{t_2} F dt$ , což je známo z mechaniky jako:

$$\int_{v_1}^{v_2} m dv = \int_{t_1}^{t_2} F dt \quad . \quad 3.1$$

Pro konstantní sílu ( $F = konst.$ ) a hmotnost ( $m = konst.$ ) lze rovnici integrovat. Změnilo se za časový interval  $\Delta t = t_2 - t_1$  a rychlost hmoty  $m$  z rychlosti  $v_1$  na  $v_2$ , bude platit pro sílu  $F$  působící na hmotu  $m$ :

$$F \cdot \Delta t = m \cdot (v_2 - v_1) \quad . \quad 3.2$$

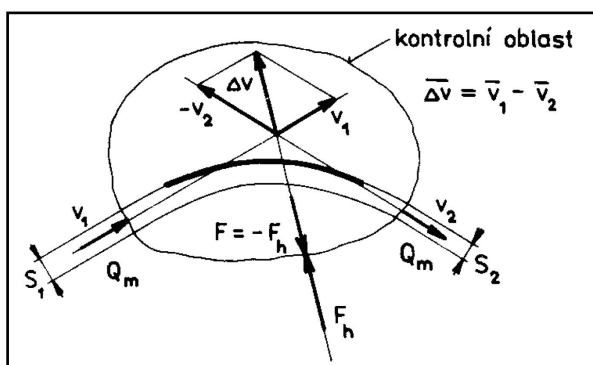
Veličina  $I = F \cdot \Delta t$  je impuls síly a  $\Delta H = m \cdot \Delta v$  je změna hybnosti. V mechanice tekutin se úpravou této rovnice (dělením  $\Delta t$ ) získá rovnice:



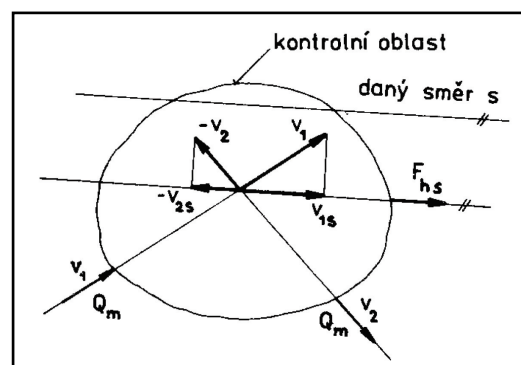
$$F = \frac{m}{\Delta t} \cdot (v_2 - v_1) = Q_m \cdot (v_2 - v_1) = H_2 - H_1 \quad , \quad 3.3$$

která slouží k výpočtu sil (reakce), kterými působí obtékané plochy na proud kapaliny, kde součin  $H = Q_m \cdot v$  je průtoková hybnost. Síla  $F$  vyvolaná proudící kapalinou (akce) je rovna změně průtokové hybnosti  $H_2 - H_1$ .

Jinými slovy hybnostní věta v mechanice tekutin znamená, že síla proudu tekutiny působící na kontrolní oblast se rovná změně hybnostního toku protékajícího kontrolní oblastí. Kontrolní oblast se vhodně zvolí tak, aby obepínala těleso (součást, plochu atd.), u něhož se vyšetřuje silový účinek proudu tekutiny (Obr. 18).



Obr. 18 Silový účinek proudu [10]



Obr. 19 Složka silového účinku [10]

Tekutina působí na těleso, nesymetrický profil (např. část kruhového oblouku), silou  $F_h$ . Podle principu akce a reakce působí těleso na tekutinu silou stejně velkou, ale opačného smyslu:

$$F = -F_h \quad . \quad 3.4$$

Jestliže zanedbáme hmotnostní síly, například tíhu tekutiny, a zvolíme-li kontrolní oblast tak, aby na její hranici byl tlak stejný a roven tlaku ovzduší  $p_o$ , pak síla ze změny hybnostního toku, již tekutina působí na těleso, je určena výrazem:

$$F = -F = Q_m \cdot (v_1 - v_2) = H_1 - H_2 \quad . \quad 3.5$$



Směr vektoru síly  $\mathbf{F}_h$  je určen směrem vektoru  $\Delta \mathbf{v}$ , který je vektorovým rozdílem přitékající a odtékající rychlosti proudu kapaliny (tekutiny) z kontrolní oblasti.

V některých případech je třeba určit složku síly v daném směru. I když ji lze stanovit vektorovým rozložením síly  $\mathbf{F}$  na jednotlivé složky, můžeme se učit přímo, aniž se počítá výslednice síly. Pro výpočet složky síly ve směru  $\mathbf{s}$  (Obr. 19) platí hybnostní věta:

$$F_{hs} = Q_m \cdot \Delta v_s = Q_m \cdot (v_{1s} - v_{2s}) = \Delta H_s, \quad 3.6$$

kde  $v_{1s}$  a  $v_{2s}$  jsou složky rychlosti  $\mathbf{v}_1$  a  $\mathbf{v}_2$  do směru  $\mathbf{s}$ .

Při určení silové rovnováhy proudu tekutiny je v obecnějším případě nutno uvažovat tlakovou sílu:

$$F_p = \int_s p dS, \quad 3.7$$

působící na kontrolní oblast. Tlak  $p$  působí na hranici kontrolní oblasti. Její vhodná volba usnadní výpočet tlakové síly. Do silové rovnováhy je třeba v obecnějším případě zahrnout také tíhové síly (tekutiny, potrubí apod.).

Aplikace hybnostní věty v mechanice tekutin je pro inženýrskou praxi velmi důležitá, neboť umožní stanovit hledanou sílu, aniž bychom vyšetřovali proudění uvnitř kontrolní oblasti, a to jen na základě znalostí rychlostí a tlaků na hranici kontrolní oblasti. Aby použití hybnostní věty bylo efektivní, je nutno zvolit vhodně tvar kontrolní oblasti [5],[10].

### 3.2 Silové účinky vodního proudu na překážku

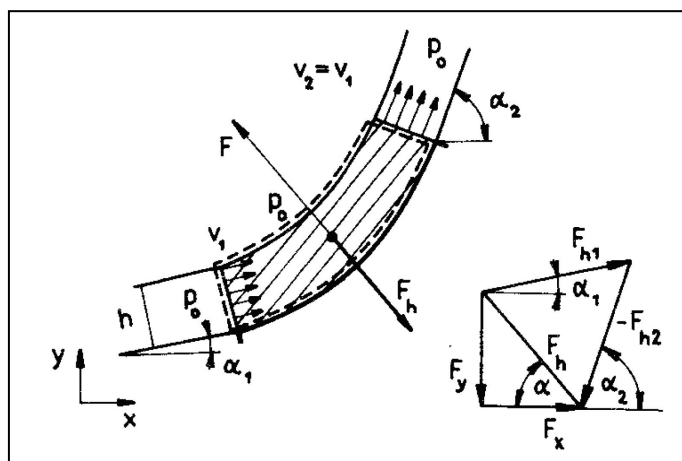
Příkladem aplikace věty o zachování hybnosti v hydrodynamice je výpočet silových účinků paprsků kapalin na desky a tělesa.

Proud tekutiny obdélníkového průřezu  $S = \mathbf{h} \cdot \mathbf{b}$ , kde  $\mathbf{h}$  je výška a  $\mathbf{b}$  šířka proudu, dopadá tečně na desku (Obr. 20) a je odkloněn z původního směru  $\alpha_1$  do směru  $\alpha_2$ . Uvažujme dokonalou tekutinu a zanedbejme vliv zemské tíže. Proud i deska jsou obklopeny vzduchem a

na povrchu desky stýkající se se vzduchem i na povrchu proudu tekutiny bude atmosférický tlak  $p_o$ .

Za těchto předpokladů bude velikost rychlosti tekutiny všude stejná (avšak její směr se bude měnit), což vyplývá z Bernoulliho rovnice. Zvolme si nyní kontrolní objem, vyznačený čárkovaně (**Obr. 20**), ohraničený vstupním průřezem, volným povrchem proudu, výstupním průřezem a smočeným povrchem desky. Uvnitř volného proudu, kde jsou proudnice paralelní, tj. mimo desku a na povrchu proudu je všude přetlak roven nule a povrchová síla na tuto část kontrolní oblasti bude tedy rovna nule. Na smáčeném vnitřním povrchu desky bude přetlak, který je závislý na změně směru proudu. Deska působí na tekutinu tlakovou silou  $F$  a podle principu akce a reakce působí tekutina na desku silou stejně velkou opačného smyslu  $F_h$ , kterou stanovíme z impulsové rovnice:

$$F_h = -F = Q_m \cdot v_1 - Q_m \cdot v_2 = F_{h1} - F_{h2} . \quad 3.8$$



**Obr. 20** Silový účinek při zakřivení proudu [10]

Tato rovnice je znázorněna graficky na **Obr. 20**. Pokud budeme případ řešit analyticky, rozložíme vektory do složek ( $Q_m = \rho \cdot S \cdot v_1$ ):

$$F_x = \rho \cdot S \cdot v_1^2 \cdot (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) , \quad 3.9$$

$$F_y = \rho \cdot S \cdot v_1^2 \cdot (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2) . \quad 3.10$$

Výsledná síla bude rovna:

$$F_h = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \rho \cdot S \cdot v_1^2 \cdot \sqrt{(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)^2 + (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2)^2} \quad 3.11$$

$$= k \cdot \rho \cdot S \cdot v_1^2 ,$$

kde součinitel  $k = \sqrt{2 \cdot [1 - \cos(\alpha_1 - \alpha_2)]}$  závisí na zakřivení desky. Směr výsledné síly se určí ze vztahu (Obr. 20):

$$\tan \alpha = -\frac{F_y}{F_x} = -\frac{\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2}{\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2} = \tan \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} , \quad 3.12$$

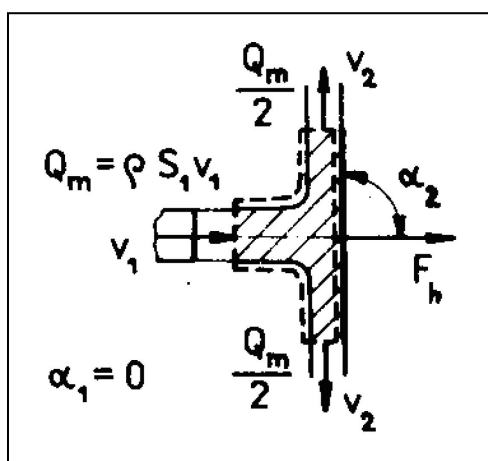
čili

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} . \quad 3.13$$

Z tohoto obecného případu lze odvodit i řadu jednodušších variant, například kolmý dopad paprsku na překážku [5],[10].

### 3.3 Silové účinky vodního paprsku na překážku u zařízení CCS-Cobra

V případě zařízení CCS-Cobra se jedná o dopad vodního paprsku na kolmou překážku, kdy se překážka působením síly nebude pohybovat. Tento případ dopadu vodního proudu na překážku můžeme zařadit k nejjednoduššímu případu.



Obr. 21 Silový účinek na stojící překážku [10]

Proud vytéká z trysky vodorovně  $\alpha_1 = 0$  a dělí se po dopadu na překážku symetricky na dva proudy. Z toho plyne, že složka  $F_y = 0$  a výsledná síla bude rovna vodorovné složce (Obr. 21):

$$F_h = F_x = \rho \cdot S \cdot v_1^2 \cdot (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) = \rho \cdot S \cdot v_1^2 = Q_m \cdot v_1 \quad . \quad 3.14$$

Výpočet silového účinku vodního paprsku  $F_h$  na kolmou překážku se vypočítá podle vzorce:

$$F_h = Q_m \cdot v = \rho \cdot S \cdot v^2 \quad , \quad 3.15$$

kde plocha průřezu trysky na proudnici  $S$  bude vypočtena jako:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad 3.16$$

a pro rychlost vodního proudu  $v$  platí:

$$v = \frac{Q_v}{S} \quad . \quad 3.17$$

Po dosazení do rovnice 3.15 dostáváme:

$$F_h = \rho \cdot S \cdot \left( \frac{Q_v}{S} \right)^2 = \frac{\rho \cdot Q_v^2}{S} = \frac{4 \cdot \rho \cdot Q_v^2}{\pi \cdot d^2} \quad . \quad 3.18$$

Pro výpočet silového účinku použijeme hodnoty zařízení CCS-Cobra udávané výrobcem (Tab. 2).

**Tab. 2** Technická data zařízení CCS-Cobra [11]

Typ	Průměr trysky [mm]	Tlak [MPa]	Průtok [l/min]	Účinný dostřik [m]	Maximální dostřik [m]
Ruční proudnice	2,20	25-30	45-50	7-12	20

Maximální hodnotu pro  $Q=50 \text{ l/min}$  z Tab. 2 dosadíme do rovnice 3.18 a vypočteme hodnotu silového účinku vodního proudu:

$$F_h = \frac{4 \cdot \rho \cdot Q_v^2}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 999 \cdot 6,94 \cdot 10^{-7}}{\pi \cdot 4,84 \cdot 10^{-6}} = \frac{2,77 \cdot 10^{-3}}{1,52 \cdot 10^{-5}} = \mathbf{182,24 \text{ N}} \quad .$$

Nyní do rovnice 3.18 dosadíme minimální hodnotu pro  $Q=45 \text{ l/min}$  z Tab. 2 a vypočteme hodnotu silového účinku vodního proudu:

$$F_h = \frac{4 \cdot 999 \cdot 5,63 \cdot 10^{-7}}{\pi \cdot 4,84 \cdot 10^{-6}} = \frac{2,25 \cdot 10^{-3}}{1,52 \cdot 10^{-5}} = \mathbf{148,03 \text{ N}} \quad .$$

Vypočtená hodnota silového účinku vodního proudu na kolmou překážku, která se nepohybuje, se bude rovnat cca **148 N** až **182 N**, což odpovídá cca **15 kg** až **18 kg**. Postoj i držení proudnice musí být proto dostatečně pevný. Je nutno zmínit, že výsledná hodnota je vypočtena bez započítání ztrát a při ideálních podmínkách. Jinak řečeno zařízení CCS-Cobra při normálních provozních podmínkách nikdy nepřekročí maximální vypočtenou hodnotu silového účinku [5],[10].

V Tab. 3 jsou uvedeny hodnoty silového účinku vodního paprsku na kolmou překážku v závislosti na zvětšujícím se průměru trysky. Výrobce udává, že při průměru trysky 2,40 mm je nutno trysku vyměnit za novou, aby byla zachována 100% funkčnost zařízení CCS-Cobra [11].

**Tab. 3** Závislost reakčních sil na průměru trysky

<b>d</b>	<b>S</b>	<b>v</b>	<b>F</b>
<b>[mm]</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	<b>[m·s<sup>-1</sup>]</b>	<b>[N]</b>
2,20	$3,80 \cdot 10^{-6}$	219,13	182,24
2,25	$3,98 \cdot 10^{-6}$	209,50	174,52
2,30	$4,15 \cdot 10^{-6}$	200,49	167,01
2,35	$4,34 \cdot 10^{-6}$	192,05	159,98
2,40	$4,52 \cdot 10^{-6}$	184,13	153,38

Reakční síla zařízení CCS-Cobra se dá vypočítat také podle rovnice 3.19 pro vysokotlaká zařízení [8]. Jedno se o velmi zjednodušenou rovnici, kde dosazujeme hodnoty obvykle uváděné výrobcí těchto zařízení:

$$T = 0,745 \cdot Q \cdot \sqrt{p} \quad , \quad 3.19$$

kde	T	[N]	reakční síla;
	Q	[l/min]	objemový průtok;
	p	[MPa]	tlak.

Po dosazení hodnot zařízení CCS-Cobra do rovnice 3.19 dostáváme pro  **$p = 30 \text{ MPa}$**  a  **$Q = 50 \text{ l/min}$** :

$$T = 0,745 \cdot Q \cdot \sqrt{p} = 0,745 \cdot 50 \cdot \sqrt{30} = \mathbf{204,02 \text{ N}}$$

Pro hodnoty  **$p=30\text{MPa}$**  a  **$Q=45 \text{ l/min}$**  dostaneme:

$$T = 0,745 \cdot Q \cdot \sqrt{p} = 0,745 \cdot 45 \cdot \sqrt{30} = \mathbf{183,62 \text{ N}}$$

V literatuře [8] je také uveden vzorec 3.20 pro výpočet maximální hodnoty tlaku na trysce zařízení, s kterým může obsluha o určité fyzické hmotnosti pracovat:

$$p = \frac{m}{0,48 \cdot d^2} \quad , \quad 3.20$$

kde	p	[MPa]	tlak na trysce;
	m	[kg]	hmotnost obsluhy;
	d	[mm]	průměr trysky.

U zařízení CCS-Cobra známe hodnotu tlaku na trysce a průměr trysky, proto vzorec 3.20 upravíme tak, abychom zjistili minimální hmotnost nutnou pro obsluhu zařízení CCS-Cobra. Po upravení vzorce 3.20 dostaneme:

$$m = p \cdot 0,48 \cdot d^2 \quad . \quad 3.21$$

Po dosazení hodnot u zařízení CCS-Cobra bude výsledná hmotnost nutná pro obsluhu tohoto zařízení rovna:

$$m = p \cdot 0,48 \cdot d^2 = 30 \cdot 0,48 \cdot 2,2^2 = \mathbf{69,67 \text{ kg}}$$

Z výsledku lze vyvodit, že se zařízením CCS-Cobra může manipulovat pouze osoba těžší než 70 kg.

### **Síly VVP působící na překážku s ohledem na vzdálenost**

Síla působící na místo kontaktu vodního paprsku s pevnou překážkou s ohledem na vzdálenost ústí trysky od kontaktní plochy dopadu vodního paprsku vysokotlakého vodního zařízení nám udává přibližnou vzdálenost, kdy síla vodního paprsku nedosahuje takových hodnot, které by byly nebezpečné a mohly způsobit zranění VVP. Bezpečnostní vzdálenost u zařízení CCS-Cobra je stanovena na 10 m. Při pokusech na zařízení, které mělo technické parametry [8]:

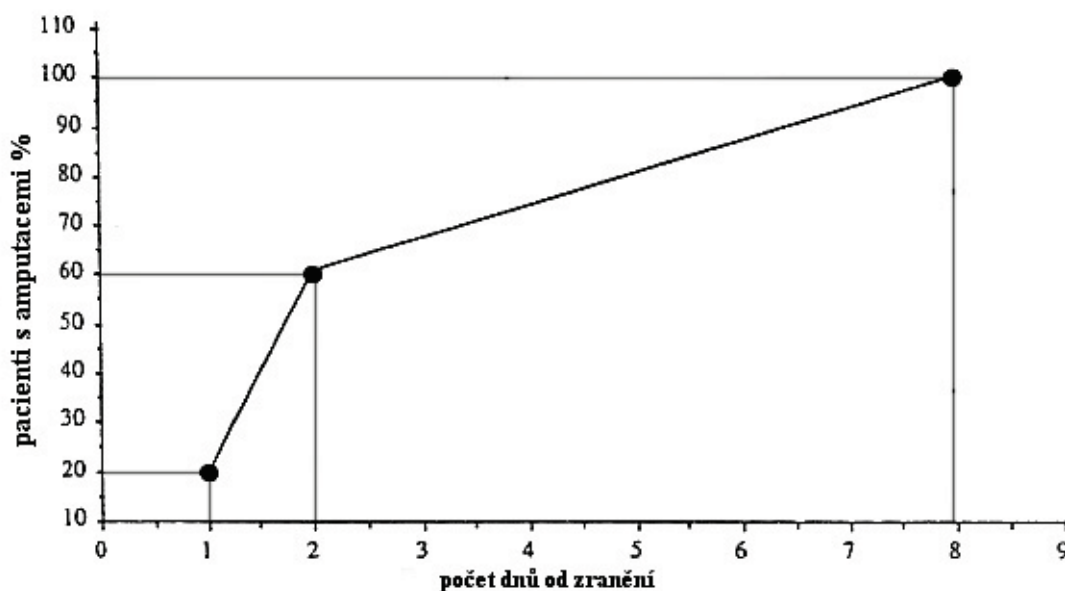
- tlak 20 MPa;
- průměr trysky 0,5-2 mm;
- vzdálenost trysky od kontaktního místa 0-1,2 m;

bylo zjištěno, že při tlaku **15 MPa** a průtoku **32,6 l/min** pronikne bez problémů lidskou kůží paprsek během několika málo vteřin při vzdálenosti ústí trysky **70,5 cm**. Doba účinku je tak krátká, že obsluha zařízení v tomto případě nestačí včas zareagovat k odvrácení poranění.

Byly také zaznamenány případy, kdy zařízení o tlaku pouhých **0,55 MPa** způsobilo poranění. K poškození kůže postačuje tlak okolo **0,7 MPa** ovšem k poškození očí je dostačující tlak **0,55 MPa** [8].

## 4 Nebezpečí poranění vysokotlakým vodním paprskem

Zranění VVP by měla být vždy posuzována jako naléhavá. Podceňování malých a zdánlivě bezvýznamných poranění může mít ve svém důsledku katastrofální následky. S přibývajícím časem od poranění roste pravděpodobnost amputace zasažené části lidského těla v důsledku rozšíření infekce (**Obr. 22**). Ačkoliv je v literatuře zaznamenán velký počet poranění VVP, tak mechanismus tohoto poranění není dosud podrobně popsán.



**Obr. 22** Závažnost prodlení neošetřeného poranění VVP [8]

Při poraněních VVP lze očekávat přidružení vnitřních zranění a nezbytnost operačního zákroku. Ačkoliv vstříknutí vody není v porovnání s činidly na bázi ropy tolik toxické, nese s sebou značné riziko bakteriální infekce (až 20 %). Voda použitá v zařízení CCS-Cobra může být kontaminována grampozitivními a gramnegativními bakteriemi, plísněmi i ne zcela běžnými patogeny (**Tab. 4**) [17],[18].

Zdánlivě malý rozsah poranění ve spojení s opožděným nástupem rozsáhlého zánětu často způsobí opožděné lékařské ošetření. Ošetření zranění tohoto druhu přitom vyžaduje okamžité prozkoumání rány, co možná nejrozsáhlejší chirurgické odstranění cizích těles a toxických látek, odstranění evidentně odumřelých tkání a ponechání rány otevřené. Otevřené rány vykazují nejvyšší úspěšnost léčby. Jedna publikovaná studie udává dokonce 84% úspěšnost vyhojení a dosažení normální funkčnosti ruky v 6 % případů. Ovšem v některých případech je nezbytná amputace [17].



**Tab. 4** Patogeny šířené vodou a jejich vliv na člověka (upraveno podle Světové zdravotnické organizace) [4]

Patogen		Zdravotní riziko	Přežívání ve vodě <sup>a</sup>	Rezistence vůči chloru <sup>b</sup>	Míra nakažlivosti <sup>c</sup>	Relevance v ČR
<b>Bakterie</b>	Burkholderia pseudomallei	nízké	mohou se rozmnožovat	nízká	nízká	nízká
	Campylobacter jejuni, C. coli	vysoké	střední	nízká	střední	střední
	Escherichia coli - patogenní <sup>d</sup>	vysoké	střední	nízká	nízká	vysoká
	E. coli – enterohemoragické	vysoké	střední	nízká	vysoká	vysoká
	Legionella spp.	vysoké	rozmnožují se	nízká	střední	vysoká
	Netuberkulózní mykobakteria	nízké	rozmnožují se	střední	nízká	střední
	Pseudomonas aeruginosae <sup>e</sup>	střední	mohou se rozmnožovat	mírná	nízká	vysoká
	Salmonella typhi	vysoké	střední	nízká	nízká	vysoká
	Jiné salmonely	vysoké	mohou se rozmnožovat	nízká	nízká	vysoká
	Shigella spp.	vysoké	krátké	nízká	střední	vysoká
	Vibrio cholerae	vysoké	krátké	nízká	nízká	střední
	Yersinia enterocolitica	vysoké	dlouhé	nízká	nízká	střední
<b>Viry</b>	Adenoviry	vysoké	dlouhé	střední	vysoká	vysoká
	Enteroviry	vysoké	dlouhé	střední	vysoká	vysoká
	Virus hepatitidy A	vysoké	dlouhé	střední	vysoká	vysoká
	Virus hepatitidy E	vysoké	dlouhé	střední	vysoká	střední
	Noroviry a sapoviry	vysoké	dlouhé	střední	vysoká	střední
	Rotaviry	vysoké	dlouhé	střední	vysoká	střední
<b>Prvoci</b>	Acanthamoeba spp.	vysoké	dlouhé	vysoká	vysoká	střední
	Cryptosporidium spp.	vysoké	dlouhé	vysoká	vysoká	střední
	Cyclospora cayetanensis	vysoké	dlouhé	vysoká	vysoká	nízká
	Entamoeba histolytica	vysoké	střední	vysoká	vysoká	střední
	Giardia intestinalis	vysoké	střední	vysoká	vysoká	střední
	Naegleria fowleri	vysoké	mohou se rozmnožovat v teplé vodě	vysoká	vysoká	střední
	Toxoplasma gondii	vysoké	vysoké	vysoká	vysoká	střední
<b>Červi</b>	Dracunculus medinensis	vysoké	střední	střední	vysoká	nízká
	Schistosoma spp.	vysoké	krátké	střední	vysoká	nízká

Vysvětlivky k **Tab. 4:**

- a. *Detekční doba pro infekční stádium ve vodě při 20 °C: krátká - do týdne; střední - 1 týden až 1 měsíc; dlouhá - více než 1 měsíc.*
- b. *Údaje se vztahují k situaci, kdy jsou infekční agens volně rozptýleny ve vodě, která je upravovaná běžnými dávkami chloru a s běžnou kontaktní dobou. Odolnost „střední“ znamená, že původce možná není úplně odstraněn.*
- c. *V originále „relative infectivity“. Znamená pravděpodobnost přenosu infekce. Údaje byly získány z výzkumu na dobrovolnících nebo z epidemiologických šetření.*
- d. *Zahrnuje enteropatogenní, enterotoxigenní a enteroinvazivní E. coli.*
- e. *Hlavní infekční cesta P. aeruginosa je kožním kontaktem, ústy (perorálně) se mohou infikovat osoby s potlačenou imunitou nebo nemocné rakovinou.*

#### **Některé důležité poznatky týkající se poranění VVP [8]:**

- místo vpichu je obvykle malé, často postižený nehledá okamžitou lékařskou pomoc, což může mít devastující účinky (v den poranění je 20% možnost amputace zasažené části, se zpožděním o 2 dny vzroste na 60 % a u zpoždění 7 dny, je amputace nevyhnutelná);
- míra rozšíření tekutiny v tkáních a intenzita následného zranění je vysoce závislá na velikosti kinetické energie paprsku (tzn. úměrná tlaku a hmotnostnímu průtoku) a doby expozice;
- vzhledem k způsobu, jakým se šíří tekutina do tkání, budou různé druhy úrazů v závislosti na místě poranění (například dopad paprsku v blízkosti očí může být mnohem vážnější, než na zádech), už při tlaku 0,55 MPa bylo zjištěno, že to stačí k vážnému poškození očního víčka;
- dochází k odumírání tkání v důsledku přítomnosti bakterií a toxinů.

#### **4.1 Mechanismus poškození tkání**

Proces poškození bude zahájen kontaktem vodního paprsku s kůží, pokud bude síla dostačující, pronikne skrz kůži. Na **Obr. 23** je k vidění vysokotlaké injekční poranění, způsobené zařízením na nanášení barvy, v tomto zařízení byla použita bílá barva. Po proniknutí do kůže se voda s abrazivem rozšíří do podkožní tkáně. Paprsek se bude dále rozšiřovat do hloubky a částečně do šířky. Při stálém tlaku jsou voda a abrazivo vtlačovány do kůže, která je tvořena mnohovrstvami buněk. Mezi těmito vrstvami se bude voda s abrazivem šířit (**Obr. 24**). Bude docházet k mechanickému poškození a šíření infekce. Při zásahu kostí se

paprsek odchýlí a rozšíří okolo místa kontaktu s kostí. Pokud bude síla paprsku dostatečně velká, dojde k proniknutí do kostí a k výplachu kostní dutiny. Tím dojde k poškození morku a kontaminovaný materiál může způsobit infekci (osteomyelitis). Paprsek dále poškodí nervy, svaly, šlachy, krevní cévy a tepny. Při malé síle vodního paprsku se při nárazu na tvrdší tkáň rozšíří podél této anatomické struktury. Je nutné podotknout, že schopnost průniku se zvyšuje při použití abraziva [3],[9].



**Obr. 23** Vysokotlaké injekční poranění [15]



**Obr. 24** Míra poškození tkání [15]

Byly provedeny pokusy vysokoenergetickým kapalinovým paprskem na čerstvých předních nohách prasete, které jsou podobné lidské tkáni. Z nohou byly získány vzorky kůže a kostí pro pokusy [3].

Pokusy na kůži z prasete byly provedeny vysokoenergetickým kapalinovým paprskem s následujícími parametry [3]:

- vzdálenost: 100 mm;
- průměr trysky: 0,3 mm;
- úhel dopadu: 90°;
- hodnoty tlaku: 5, 10, 20 MPa;
- čas působení: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2 s.

Pokusy na kosti z prasete byly provedeny vysokoenergetickým kapalinovým paprskem s následujícími parametry [3]:

- vzdálenost: 60 mm;
- průměr trysky: 0,3 mm;

- úhel dopadu: 90°;
- hodnoty tlaku: 150, 200, 250, 300, 350 MPa;
- čas působení: 0,5; 1; 2 s.

Pokusy s kompletníma předníma nohama z prasete byly provedeny abrazivním paprskem s následujícími parametry [3]:

- vzdálenost: 70 mm;
- průměr trysky: 0,3 mm;
- úhel dopadu: 45°, 90°;
- hodnoty tlaku: 50, 100, 200 MPa;
- postupová rychlost: 1000 mm/min.

Z pokusů lze konstatovat, že voda s abrazivem se šíří podél šlach a pod svaly v proximální a distální směru [18]. Největší koncentrace abraziva byla v oblasti obklopující vstupní čáru řezu [3].

Pro úhel 45° mezi paprskem a podélným směrem ke konci přední nohy byla:

- při tlaku 50 MPa měkká tkáň (kůže, šlachy, svaly) zcela poškozena;
- při tlaku 100 MPa poškozena rovněž okostice;
- při tlaku 200 MPa poškozena primární stěna kostí.

Při stejném pokusu, ale pod úhlem 90°, byly anatomické struktury poškozeny za nižšího tlaku, kdy bylo [3]:

- při tlaku 50 MPa poškozena okostice;
- při tlaku 200MPa proniká paprsek tvrdou tkání kosti.

U hašení požáru zařízením CCS-Cobra jsou evidovány dva případy, kdy bylo zařízení použito k hašení vnitřního prostoru, v kterém se nacházeli hasiči s dýchací technikou. U zařízení CCS-Cobra hrozí poškození po celém těle, a to proniknutím paprsku pod kůži, na kosti, orgány a zasažení obličeje. V lepším případě hrozí pořezání kůže, proříznutí svalů, šlach a žil. V horším případě hrozí proříznutí tepen a zasažení životně důležitých orgánů. Z tohoto důvodu je třeba, aby obsluha zařízení CCS-Cobra nosila ochranný oděv a při práci dodržovala přísné bezpečnostní zásady [16].

## 4.2 Záchranná karta

V zahraničí je u osoby pracující s vysokotlakým vodním zařízením zcela běžné, aby měla u sebe tzv. „záchrannou kartu“ (angl. „Medicard“ nebo „Emergency Card“) pro případ poranění VVP. Tato záchranná karta informuje ošetřující personál o poranění VVP a upozorňuje na některá nebezpečí související s tímto druhem poranění [8],[17].

Navrhnutá záchranná karta (**Obr. 25**) pro příslušníky HZS ČR by měla mít cca velikost formátu A6. Celá by byla zalita ve vodou nepropustné fólii. V rozích by mohly být otvory sloužící pro zavěšení (například na řetízek, na krk). Byla by potištěna z obou stran. Povinností, každé osoby pracující se zařízením CCS-Cobra, by bylo mít tuto kartu u sebe. V případě poranění by byla nouzová karta předána ošetřujícímu personálu, v případě menšího poranění by informovala poraněného o důležitosti ošetření v nemocničním zařízení. Na čelní straně karty bude upozornění pro lékaře, že se jedná o poranění VVP a že se tato skutečnost musí brát v potaz při stanovování diagnózy. Také zde bude uvedeno velmi stručně, co poraněnému hrozí [17].

Zadní strana karty bude obsahovat kontakty na osoby, které poskytnou informace o tomto druhu poranění. Tyto osoby by v případě zařízení CCS-Cobra měly být z řad HZS ČR nebo z OU PO Brno, kde probíhá výcvik se zařízením CCS-Cobra. Vytypované osoby budou znát problematiku poranění VVP a budou u sebe mít potřebné informace týkající se poranění VVP v tištěné i elektronické podobě. Při kontaktování těchto osob, bude jejich povinností podat prvotní informace a poskytnout materiály týkající se poranění VVP ošetřujícímu personálu. K dalším povinnostem bude patřit zaznamenání celého incidentu od poranění až po ukončení léčby. Tyto informace budou v případě dalšího poranění velmi ceněnými, proto je důležité podrobné zaznamenání případu, především léčby zranění. V budoucnu by díky těmto informacím mohly být zpracovány podrobné postupy léčby poranění VVP.

**Tato osoba pracuje s vysokotlakým vodním paprskem při tlaku až 30 MPa (300 bar) a průtoku až 50 l/min. Prosím vezměte to v potaz při stanovení diagnózy!**

Zranění by mělo být posuzováno jako naléhavá. Voda použitá v zařízení může být kontaminována splašky nebo olejovými mazivy. Dochází k vstříknutí vody, které není v porovnání např. s činidly na bázi ropy tolik toxické, nese s sebou ovšem značné riziko bakteriální infekce až 20%. Kontaminace bakteriemi zahrnuje grampozitivní a gramnegativní bakterie, plísň i ne zcela běžné patogeny, včetně *Aeromonas hydrophila*. Další konkrétní nebezpečí je Leptospiróza.

**Obr. 25** Návrh záchranné karty

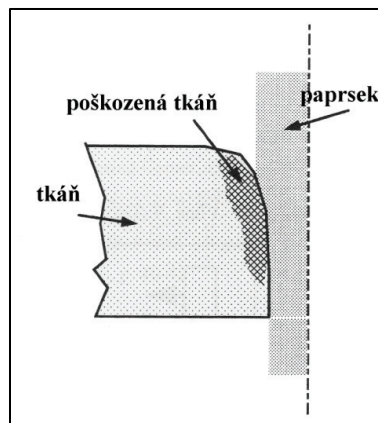
#### **4.3 První pomoc při poranění**

Při menších poranění VVP, která na první pohled nejsou život ohrožující, dochází k podceňování zranění a laickému ošetření. Je to největší chyba, která se může stát při první pomoci u poranění VVP. Už jen při podezření na poranění VVP je nutné vyhledat lékařskou pomoc. Při poranění VVP mohou nastat tyto případy:

- **řezné poranění VVP;**
- **bodné (injekční) poranění VVP;**
- **amputace končetiny VVP.**

##### **Řezné poranění VVP**

Rány všeho druhu způsobené VVP. Při masivním krvácení se jedná o kombinaci tepenného a žilního krvácení. Je nutné vyhledat lékařskou pomoc. Ošetřující personál musí být seznámen s problematikou poranění způsobeného VVP.



**Obr. 26** Schéma řezného poranění [9]

### **Příčiny:**

- způsobeny VVP při kontaktu s lidskou tkání, při kterém dojde k pořezání této tkáně (Obr. 26).

### **Příznaky:**

- bolestivost v místě rány;
- krvácení.

### **První pomoc:**

- nasadíme si rukavice;
- postiženého uložíme do vhodné polohy (podle druhu poranění);
- při malém krvácení desinfikujeme okolí rány (betadine, peroxid vodíku);
- zastavíme krvácení - při masivním krvácení přikládáme tlakový obvaz (3 vrstvy – pokud prosáknou tři vrstvy tlakového obvazu, přikládáme škrtdlo), popřípadě stlačíme tlakový bod;
- kontrolujeme životní funkce – zejména při značném krvácení;
- provádíme protišoková opatření;
- zajistíme příjezd Zdravotnické záchranné služby (dále jen „ZZS“) - zejména při značném krvácení;
- pro ošetřující personál zaznamenat čas poranění, složení provozní kapaliny (např. voda s abrazivem) a informovat je o druhu poranění (např. pomocí záchranné karty);
- postižený by měl v každém případě vyhledat lékařské ošetření (ošetřující personál musí být informován o povaze poranění VVP) [1],[2],[6].

### **Doporučené postupy při hospitalizaci [14],[15],[17]:**

- zjistit čas poranění;
- zjistit složení kontaminovaného materiálu;
- zjistit datum poslední injekce tetanu;
- prohlídka místa zranění - velikost a místo kontaktu;
- kontrola rozsahu pohybu poraněné části lidského těla;
- kontrola funkce nervů a šlach;
- pořídit rentgenové snímky místa poranění;
- nasadit širokospektrální antibiotika k prevenci infekce (pozor na alergickou reakci);
- někteří autoři uvádějí, že ve vybraných případech může být prospěšné nasazení steroidů, zejména při intenzivní zánětlivé reakci nebo při prodloužení léčby.

### **Bodné (injekční) poranění VVP**

Jedno z nejčastějších poranění a také jedno z nejvíce podceňovaných poranění VVP. Z počátku postižený nemusí cítit, že byl zraněn. Bolest může přijít se zpožděním. Zranění zdánlivě vypadá neškodně. V místě vpichu je jen malé bodné poranění. S rostoucím časem dochází ke komplikacím - bolesti, rozšíření infekce. Tkáň je zasažena vtlačenou provozní kapalinou. V tomto případě poranění je nezbytně nutné vyhledat lékařskou pomoc. S časovým prodloužením dochází zbytečně k vážnějším komplikacím. Ošetřující personál musí být seznámen s problematikou poranění způsobené VVP.



**Obr. 27** Nepatrné místo vpichu [15]



**Obr. 28** Injekční poranění prstu [15]



**Příčiny:**

- způsobeny VVP při kontaktu s částí lidského těla, kdy dochází k vysokotlakému injekčnímu poranění;
- při vstupu do lidské tkáně je jen malá rána;
- poranění připomíná střelné poranění;
- krvácení může být zevní a vnitřní;
- nebezpečí poranění vnitřních orgánů.

**Příznaky:**

- bolestivost v místě rány;
- krvácení při vstupu;
- příznaky šoku.

**První pomoc:**

- nasadíme si rukavice;
- uložíme postiženého do vhodné polohy (dle typu poranění);
- zastavíme krvácení - při masivním krvácení vkládáme prsty do rány a přikládáme tlakový obvaz, popřípadě stlačíme tlakové body;
- uvolnit oděv okolo krku, hrudníku a pasu;
- provádíme protišoková opatření;
- zajistíme příjezd ZZS;
- pro ošetřující personál zaznamenat čas poranění, složení provozní kapaliny (např. voda s abrazivem) a informovat je o druhu poranění (např. pomocí záchranné karty);
- poraněný musí vyhledat lékařské ošetření (ošetřující personál musí být informován o povaze poranění VVP) [1],[2],[6].

**Doporučené postupy při hospitalizaci [14],[15],[17]:**

- zjistit čas poranění;
- zjistit složení kontaminovaného materiálu;
- zjistit datum poslední injekce tetanu;
- prohlídka místa zranění - velikost a místo kontaktu;
- kontrola rozsahu pohybu poraněné části lidského těla;
- kontrola funkce nervů a šlach;

- pořídit rentgenové snímky místa poranění;
- nasadit širokospektrální antibiotika k prevenci infekce (pozor na alergickou reakci);
- někteří autoři uvádějí, že ve vybraných případech může být prospěšné nasazení steroidů, zejména při intenzivní zánětlivé reakci nebo při prodloužení léčby.

### **Amputace končetiny VVP**

Amputace části lidského těla patří k nejzávažnějším a nejvíce životu ohrožujícím poraněním VVP. V důsledku VVP dojde k částečné nebo úplné amputaci. Výsledek méně závažné amputace části prstu pravé ruky lze vidět na **Obr. 29**.



**Obr. 29** Ošetření po amputaci části prstu [15]

### **Příčiny:**

- vznik ztrátového poranění způsobené VVP.

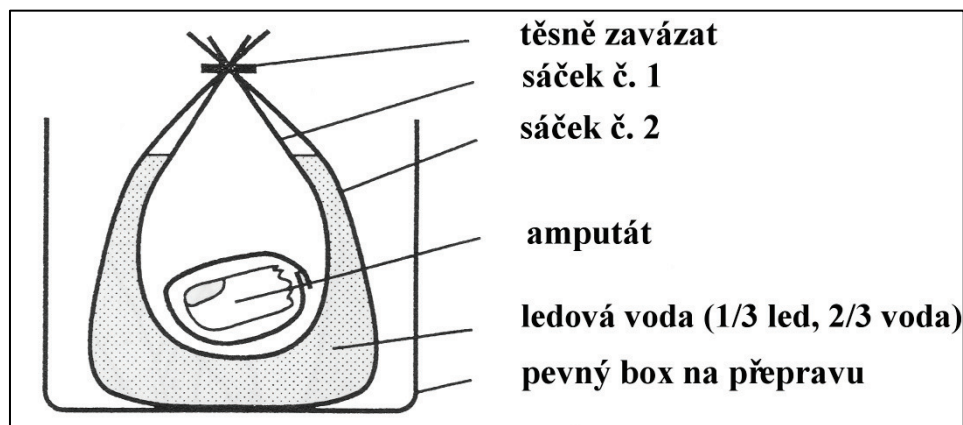
### **Příznaky:**

- bolestivost v místě rány;
- amputovaná část těla (prst);
- značné krvácení;
- příznaky šoku (zrychlený pulz, opocení, bledost, pocit žízně).

### **První pomoc:**

- nasadíme si rukavice;
- postiženého položíme na záda a zvedneme dolní končetiny;
- zastavíme krvácení;

- stlačíme rukou přímo v ráně;
- stlačíme tlakový bod;
- přiložíme tlakový obvaz (3 vrstvy) - pokud prosáknou tři vrstvy tlakového obvazu, přikládáme škrtidlo;
- kontrolujeme životní funkce (dýchání, pulz);
- provádíme protišoková opatření;
- zajistíme příjezd ZZS;
- pro ošetřující personál zaznamenat čas poranění, složení provozní kapaliny (např. voda s abrazivem) a informovat je o druhu poranění (např. pomocí záchranné karty).
- zabezpečit amputát k transportu (**Obr. 30**) [1], [2], [6].



**Obr. 30** Vhodné umístění amputátu [9]

#### **Doporučené postupy při hospitalizaci:**

V případě tohoto poranění nejsou jednoznačné postupy při hospitalizaci. Dané poranění je tak závažné, že jde především o záchranu života zraněné osoby. Amputace části lidského těla je závažnější než poranění VVP.

## Závěr

V této práci je představeno zařízení CCS-Cobra jako vhodný technický prostředek požární ochrany a jsou zde shrnuty možnosti použití tohoto zařízení. Z databáze zásahů a použitých zdrojů vyplývá, že stále nedochází k plnému využití tohoto zařízení. Jako jednu z možných příčin shledávám umístění zařízení CCS-Cobra na velkých centrálních stanicích a také umístění do nevhodných požárních nástaveb. Jelikož zařízení CCS-Cobra využívá VVP, hrozí reálné nebezpečí poranění tímto paprskem. K tomuto poranění může dojít v důsledku neudržení ruční proudnice, proto je v práci věnovaná kapitola 3 reakčním silám působícím na osobu pracující se zařízením CCS-Cobra.

Po vyvození vhodného vzorce pro výpočet sil působících na překážku byla pro výpočet těchto sil vybrána nejjednodušší situace, a to dopad paprsku na kolmou překážku. Výsledná vypočtená hodnota pro maximální provozní parametry zařízení CCS-Cobra byla **182,24 N** na plochu o velikosti  $3,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ , což lze přirovnat k ploše kovové špendlíkové hlavičky. Výsledná síla je rovna tlaku proti rameni cca **18 kg**. Výrobce udává hodnota cca **15 kg**. Rozdíl mezi vypočtenou hodnotou a hodnotou udávanou výrobcem je, že ve výpočtu nebyly zohledněny ztráty. Proto se dá říci, že tato hodnota je maximální teoretickou hodnotou a nebude nikdy při normálních provozních podmínkách zařízení CCS-Cobra dosažena. Poté byl proveden výpočet pro minimální provozní parametry zařízení CCS-Cobra, kdy výsledná hodnota byla **148,03 N** na plochu o velikosti  $3,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ , tedy tlak proti rameni cca **15 kg**. Dále byly provedeny výpočty pomocí vzorců z publikací zabývajících se VVP, z nichž je nejdůležitější hodnota udávající minimální hmotnost osoby obsluhující zařízení CCS-Cobra. Výsledná hmotnost obsluhující osoby by měla být minimálně **70 kg**. Neboli hmotnost obsluhy zařízení CCS-Cobra musí být větší než **70 kg**.

Pokud už dojde k poranění VVP, jedná se ve většině případů o poranění vyžadující lékařské ošetření. Při psaní této práce bylo zjištěno, že zranění způsobena VVP jsou v ČR velkou neznámou a neexistuje žádný materiál popisující možnosti léčby či první pomoci. Nejsou zde ani lékařská pracoviště zabývajících se tímto druhem poranění. Není dokonce ani žádný materiál u HZS ČR, který by obsahoval tyto informace. Proto jsou v této práci zahrnuty informace týkající se možného nebezpečí při poranění VVP, která jsou posbírána ze zahraniční literatury, z nichž vyplývá především, že časová prodleva u těchto poranění vede s přibývajícím časem k vážnějším komplikacím.

Aby ošetřující personál věděl, že se jedná o poranění VVP, je v této práci navržena záchranná karta, která je v zahraničí nutností pro obsluhu všech zařízení pracujících s VVP. Pokud už dojde k poranění VVP, je v této práci uvedena první pomoc v a doporučení při lékařském vyšetření v kapitole 4.3. Při psaní první pomoci byla maximální snaha aplikovat ji na poranění VVP.

Závěrem doporučuji vybavit záchranou kartou hasiče pracující se zařízením CCS-Cobra pro případ možného zranění VVP a doplnit materiály odborné přípravy příslušníků HZS ČR [11] o informace týkající se nebezpečí poranění VVP.

## Literatura

### Tištěné monografie:

- [1] FRANĚK, Ondřej. *První pomoc nejsou žádné čáry*. Praha : Studio Kalamář, 2010. 35 s. ISBN 978-80-254-5911-9.
- [2] HASÍK, Juljo. *První pomoc pro příslušníky tísňových složek*. 1. vydání. Praha : Úřad ČČK, 2004. 68 s.
- [3] HEJZLAR, Jakub. *Technologie vysokoenergetického kapalinového paprsku z hlediska člověka a životního prostředí : Bakalářská práce*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, FBI, 2008. 55 s.
- [4] KOŽÍŠEK, František – KOS, Jiří – PUMANN, Petr. *Hygienické minimum pro pracovníky ve vodárenství*. 2. vydání. Praha, 2007. 72 s.
- [5] JANALÍK, Jaroslav - ŠTÁVA, Pavel. *Mechanika tekutin*. 1. vydání. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2002. 128 s. ISBN 80-248-0038-1.
- [6] KELNAROVÁ, Jarmila. *První pomoc I : Pro studenty zdravotnických oborů*. 1. vydání. Praha : Grada Publishing, a.s., 2007. 112 s. ISBN 978-80-247-2182-8.
- [7] KOUTNÍK, Zdeněk. *Systém Cobra a jeho použití při zásahu : Diplomová práce*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, FBI, 2008. 47 s.
- [8] *Fluid Jet Technology : Fundamentals and Applications*. Editor Thomas J. Labus. Third Edition. St. Louis : Water Jet Technology Association, 1995. 272 s. ISBN 1-880342-01-4.
- [9] *12<sup>th</sup> International Conference on Jet Cutting Technology*. Editor N. G. Allen . Oxford : Information Press Ltd, 1994. 350 s. ISBN 0-85298-925-3.
- [10] NOSKIEVIČ, Jaromír. *Mechanika tekutin*. 1. vydání. Praha : SNTL, 1987. 354 s.
- [11] PEČENÝ, Pavel. *Hašení požáru a řezání konstrukcí vysokotlakým zařízením COBRA : Konspekty odborné přípravy jednotek PO*. Praha : MV-GŘ HZS ČR, 2004. 22 s. ISBN 80-86640-51-5.

### Zdroje na internetu:

- [12] CCS-Cobra [online]. c2005 [cit. 2010-04-06]. Dostupné z WWW : <<http://www.ccs-cobra.com/cz/default.asp>>.
- [13] Cold Cut System [online]. c2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW : <<http://www.coldcutsystems.com/?id=1306>>.

- [14] *Hand Injury : High Pressure* [online]. c2009 [cit. 2010-03-20]. Dostupné z WWW : <http://emedicine.medscape.com/article/826620-overview>.
- [15] *High Pressure Injection Injuries* [online]. c2005 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW : <http://www.cmki.org/LMHS/Chapters/13i-Injection.htm>.
- [16] *Nordex Agentur* [online]. c2009 [cit 2010-04-15]. Dostupné z WWW : <http://www.nordexagentur.cz/produkty/cobra/1>.
- [17] *The Water Jetting Association* [online]. c2009 [cit 2010-04-15]. Dostupné z WWW : [http://www.waterjetting.org.uk/health\\_and\\_safety.html](http://www.waterjetting.org.uk/health_and_safety.html).
- [18] *Velký lékařský slovník* [online]. c2008 [cit 2010-04-20]. Dostupné z WWW : <http://lekarske.slovniky.cz/>.

## Seznam použitého označení

b	[m]	šířka
d	[m]	průměr
d	[mm]	průměr (rovnice 3.20 a 3.21)
F	[N]	síla
F <sub>h</sub>	[N]	síla ze změny hybnostního toku
H	[kg·m·s <sup>-1</sup> ]	hybnost
h	[m]	výška
I	[N·s]	impuls síly
m	[kg]	hmotnost
p	[pa]	tlak
p	[Mpa]	tlak (rovnice 3.19 a 3.20)
Q	[l·min <sup>-1</sup> ]	objemový průtok (rovnice 3.19)
Q <sub>m</sub>	[kg·s <sup>-1</sup> ]	hmotnostní průtok
Q <sub>v</sub>	[m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	objemový průtok
S	[m <sup>2</sup> ]	plocha
t	[s]	čas
T	[N]	reakční síla (rovnice 3.19)
v	[m·s <sup>-1</sup> ]	rychlost
ρ	[kg·m <sup>-3</sup> ]	hustota



## Seznam zkratek

CCS	Cold Cut System (systém chladného řezání)
ČR	Česká republika
GŘ HZS ČR	Generální ředitelství hasičského záchranného sboru České republiky
HZS ČR	Hasičský záchranný sbor České republiky
HZS hl. m. Prahy	Hasičský záchranný sbor hlavního města Prahy
jednotka PO	jednotka požární ochrany
OU PO Brno	Odborné učiliště požární ochrany Brno
VŠB-TU Ostrava	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
VVP	vysokotlaký vodní paprsek
zařízení CCS-Cobra	vysokotlaké řezací a hasicí zařízení CCS-Cobra
ZZS	Zdravotnická záchranná služba

## Seznam obrázků

Obr. 1	Průběh hašení požáru v kontejneru zařízením CCS-Cobra [12]	3
Obr. 2	Schéma zařízení CCS-Cobra [11]	6
Obr. 3	Umístění akumulátoru v ruční proudnici	7
Obr. 4	Detail akumulátoru	7
Obr. 5	Umístění ovládacího panelu v automobilu	8
Obr. 6	Ovládací panel [12]	8
Obr. 7	Abrazivo	8
Obr. 8	Zůstatek abraziva po řezání	8
Obr. 9	Průtočný pohotovostní naviják	9
Obr. 10	Pojízdný naviják	9
Obr. 11	Ruční proudnice zařízení CCS-Cobra	10
Obr. 12	Tvorba vodní mlhy	10
Obr. 13	Řezání otvoru v homogenním materiálu	13
Obr. 14	Vyřezané otvory	13
Obr. 15	Použití zařízení CCS-Cobra při požáru [12]	14
Obr. 16	Tvorba vodní mlhy za překážkou	14
Obr. 17	Zařízení CCS-Cobra při požáru síla [16]	14
Obr. 18	Silový účinek proudu [10]	17
Obr. 19	Složka silového účinku [10]	17
Obr. 20	Silový účinek při zakřivení proudu [10]	19
Obr. 21	Silový účinek na stojící překážku [10]	20
Obr. 22	Závažnost prodlení neošetřeného poranění VVP [8]	25
Obr. 23	Vysokotlaké injekční poranění [15]	28
Obr. 24	Míra poškození tkání [15]	28
Obr. 25	Návrh záchranné karty	31
Obr. 26	Schéma řezného poranění [9]	32
Obr. 27	Nepatrné místo vpichu [15]	33
Obr. 28	Injekční poranění prstu [15]	33
Obr. 29	Ošetření po amputaci části prstu [15]	35
Obr. 30	Vhodné umístění amputátu [9]	36

## Seznam tabulek

Tab. 1	Dislokace zařízení CCS-Cobra na stanicích HZS ČR .....	6
Tab. 2	Technická data zařízení CCS-Cobra [11] .....	21
Tab. 3	Závislost reakčních síl na průměru trysky .....	22
Tab. 4	Patogeny šířené vodou a jejich vliv na člověka [4] .....	26